

**CIRAD-Forêt / IRAD  
B.P. 222 MAROUA  
CAMEROUN**

**Compte-rendu de mission d'appui  
à l'unité sylviculture et aménagement de l'UR2 P.I.  
- Pointe-Noire au Congo -**

**- 24 au 27 mars 1998 -**

**Jean-Michel HARMAND**

**Personnes rencontrées :**

Laclau J. P. : Chercheur CIRAD-Forêt à l'UR2PI (forestier sylviculteur)

Bouillet J. P. : Chercheur CIRAD-Forêt à l'UR2PI et Directeur de l'UR2PI (forestier sylviculteur)

Nzila J. D. : Chercheur à l'UR2PI (pédologue)

Bouvet J. M. : Chercheur CIRAD-Forêt à l'UR2PI (forestier améliorateur)

Nizinski G. : Chercheur ORSTOM (écophysiologiste)

## **But de la mission**

Le but de cette mission était d'apporter un appui à J.P. Laclau sur quelques problèmes méthodologiques qu'il s'est posé dans la mise en route de son travail de thèse intitulé : dynamique du fonctionnement minéral d'une plantation d'*Eucalyptus* au Congo : impact du reboisement sur le sol de savane.

Cette thèse conduite en collaboration avec l'INRA (J. Ranger) s'insère dans un programme de recherche sur la durabilité de la production des plantations d'*Eucalyptus* à courte révolution. Ce programme comporte, en plus du travail de J.P. Laclau différentes expérimentations sur la gestion de la matière organique (litière et résidus d'exploitation) et différents types de travail du sol. Ces expérimentations sont conduites par J.P. Bouillet et J.D. Nzila en collaboration avec le CIFOR, l'ORSTOM et l'INRA.

## **Objectif de la thèse de J.P. LACLAU**

Cette étude du fonctionnement biogéochimique de l'écosystème *Eucalyptus* est conduite en comparaison avec l'écosystème savane. Elle a pour objectif d'évaluer les bilans entrée-sortie d'éléments minéraux des deux écosystèmes, et d'évaluer l'impact des plantations sur les sols et les eaux superficielles. Cette thèse devrait fournir des données objectives, permettant de juger des possibilités de production à long terme des plantations d'*Eucalyptus* sur les sols de savane côtière du Congo. Ces données devraient permettre de raisonner plus efficacement les fertilisations (Laclau : document de programme de thèse).

Les principales étapes de l'étude concernent les flux d'élément nutritifs dans l'écosystème (en solution et en phase solide) et l'établissement de bilans minéraux.

Un certain nombre de ces flux sont obtenus par des travaux menés en collaboration, en particulier le modèle de bilan hydrique à compartiments établi avec G. Nizinski (1995), la fixation non symbiotique de l'azote (ORSTOM) et l'altération des minéraux primaires (INRA Nancy).

Le présent rapport ne reprend pas le protocole d'étude mentionné par J.P. Laclau dans son document préparatoire à la première réunion du comité de thèse.

## **1. Etude de l'écosystème savane**

### **Données bibliographiques concernant le fonctionnement des savanes**

Le fonctionnement des savanes herbacées des zones humides (cycles de la biomasse et de l'azote) a fait l'objet de nombreux travaux à Lamto en Côte-d'Ivoire (César, 1992 ; Abbadie, 1983, 1984 ; Abbadie et al., 1992, 1996).

La phytomasse aérienne de la state herbacée (y compris la matière morte) et sa teneur en azote évoluent de façon régulière et prévisible. On constate en général une forte teneur en azote de la partie aérienne vivante en début de saison des pluies, quelques dizaines de jours après les feux et une diminution régulière ensuite. En fin d'année (avant les feux) les teneurs sont stabilisées dans les parties aériennes vertes, mais le stock diminue. Le stock d'azote de la matière aérienne totale (vivante et morte) diminue également. On peut penser alors à des transferts de substances

nutritives et d'azote des parties aériennes vers les plateaux de tallage et les parties souterraines des plantes.

Contrairement aux parties aériennes, dans les racines, les variations de teneur en azote sont importantes et rapides (Abbadie, 1984). Ces fluctuations seraient dues à des changements d'âge moyen, à des variations des quantités relatives de racines mortes et vivantes, ainsi qu'à des variations de l'intensité de minéralisation des racines mortes. Néanmoins dans la savane à *Loudetia simplex*, la tendance générale est une augmentation de teneur en N vers la fin de la saison de végétation.

D'après César (1992), le cycle de la biomasse souterraine n'est pas toujours facile à interpréter. En effet, certaines années les phénomènes paraissent évidents : on observe une augmentation faible et irrégulière de la masse racinaire due à des phases successives d'élongation et de décomposition. En fin de cycle (octobre à janvier) on observe une augmentation importante de la biomasse racinaire due au transfert des substances nutritives (C et éléments minéraux) vers les parties souterraines de la plante.

D'autres années, on observe des variations de grande amplitude de la biomasse souterraine fréquentes et rapides, ce qui laisse supposer que le taux de renouvellement des racines est élevé et ces variations ne sont pas régulièrement cycliques.

L'étude du cycle de l'azote des savanes herbacées de Lamto en Côte d'Ivoire montre que la minéralisation de la MO du sol ne fournit qu'une petite partie des besoins de la plantes (8%) alors que les 2/3 des besoins (40 kg N/ha) sont assurés par le transfert d'azote selon un circuit court des racines mortes vers les racines vivantes. Ces phénomènes ont été mis en évidence par des analyses isotopiques ( $\delta^{15}\text{N}$  en abondance naturelle) des différentes sources d'azote. Les pertes dues au feu de brousse (20 kg N/ha) sont sensiblement compensées par les apports par la pluie (5 kg N/ha) et par la fixation atmosphérique non symbiotique (12 kg N/ha).

Cela montre que l'alimentation en azote des savanes, relativement indépendante de la MO du sol fait appel à des processus assez complexes et la disponibilité en azote minéral n'est pas évaluable à partir de la simple analyse quantitative des stocks et des flux d'azote.

Le problème qui se pose dans l'évaluation de la production primaire de la savane est de prendre en compte la mortalité du matériel vivant et le taux de disparition du matériel mort. La mesure de la production nette aérienne en zone sahélienne a été faite par CORNET (1981), en tenant compte de ces phénomènes. Cette étude montre que négliger l'évolution du matériel mort entraîne une forte sous-estimation de la production.

En zone humide, le dessèchement des graminées pérennes est certainement moins important que celui des graminées annuelles en zone sahélienne (à vérifier). D'après César (1992), dans les savanes humides de Côte d'Ivoire qui brûlent chaque année, la matière morte au sol apparaît dès le mois de juillet, quelques mois après le début des pluies, et représente environ 10% de la biomasse totale en fin de cycle.

Le coefficient de disparition de la litière herbacée étant de l'ordre de 50% ceci m'avait conduit dans le cadre de mon étude au Cameroun (Harmand, 1997) à majorer la biomasse maximale aérienne sur pied de 15% pour estimer la production primaire de la savane. La biomasse aérienne maximale avait été mesurée en fin de cycle en même temps que la phytomasse racinaire et la litière au sol.

## Proposition pour le travail de J. P. LACLAU

Si on veut comparer la plantation d'*Eucalyptus* avec l'écosystème qu'il remplace, il est souhaitable de faire brûler la savane chaque année, comme cela se passe en conditions réelles.

Compte tenu des phénomènes complexes de transfert de substances nutritives entre compartiment aérien et racinaire et entre racines mortes et racines vivantes évoqués précédemment, le fait de récolter 3 fois par an la biomasse aérienne sans prendre en compte la biomasse racinaire paraît peu judicieux.

La méthode simplifiée et certainement la plus fiable pour évaluer la production primaire serait alors de mesurer en fin de cycle, avant le dessèchement des graminées, la phytomasse aérienne sur pied (morte et vivante), la litière au sol, la phytomasse racinaire et les talles. On mesurerait de nouveau la biomasse aérienne après dessèchement total de celle-ci, juste avant le feu. L'objectif serait alors de quantifier les pertes par volatilisation de N, P et autres éléments, en comparant les stocks d'éléments dans la biomasse sèche et dans les cendres après le feu.

D'après César (1992), l'azote est perdu à 90%, K à 46%, Ca à 27% et P à 23%.

Pour apprécier l'évolution du matériel mort au sol, il est possible de quantifier de façon approximative les apports de litière au sol en plaçant 10 petits collecteurs de litière (35 cm x 35 cm) entre les touffes, à 10 cm du sol, que l'on récolterait toutes les semaines, voire tous les 15 jours. Le stock de litière au sol serait mesuré au pic de végétation en fin de saison des pluies et comparé au stock de départ normalement nul après le feu.

L'étude du pluviolessivage dans la savane semble judicieuse compte tenu des valeurs importantes données par Villecourt et Roose (1978).

## 2. La plantation d'*Eucalyptus*

### Flux d'éléments dans la litière

Les flux de biomasse et d'éléments minéraux dans la litière seront établis sur la base d'une comparaison des stocks de litière au sol à 1 an d'intervalle et de la chute de litière au cours de la même période.

Il est envisagé d'utiliser pour cela des cadres de 50 cm de côté et de séparer les mêmes fractions de litière en feuilles fraîches, feuilles décomposées, bois, écorces et divers. Etant donné le fort développement des racines fines dans la litière au sol, il est nécessaire de séparer les feuilles en cours de décomposition du chevelu racinaire. Cependant, cette opération n'est pas facile à réaliser manuellement. Comme l'a proposé J.P. Laclau, il est alors envisageable d'en séparer une partie et de calculer la proportion de chacun des compartiments (feuilles et racines) du mélange restant à partir des concentrations respectives des racines (r), des feuilles fragmentées (ff) et du mélange des deux (rff).

Si (q) est la masse de ff du mélange restant et (Q) la masse totale du mélange restant, on peut écrire facilement la relation suivante :

$$q \times ff + (Q-q) r = rff \times Q \text{ (q étant l'inconnue)}$$

Cependant ces concentrations et ces poids doivent être exprimées en éliminant la contamination par le sol qui peut être estimée par calcination (Rapp et Leonardi, 1988). Si on retire toutes les cendres comprenant les particules de sol et les éléments minéraux, on obtient la MO.

Il faut savoir que si les éléments minéraux (Ca, Mg, K, P) représentent environ 4% de la matière sèche des végétaux, la silice occupe une proportion au moins aussi importante, c'est la raison pour laquelle il peut être intéressant de doser la silice au moins une fois sur tous les compartiments végétaux.

D'après les données d'analyse que j'ai obtenues pour *Eucalyptus camaldulensis* au Cameroun, il est effectivement possible de différencier litière de feuilles décomposées et racines fines par le calcium. Pour les autres éléments minéraux, la différenciation des 2 compartiments n'est pas possible. Si on exclut les cendres, le taux de Ca rapporté à la MO était de 1,9% pour les racines et de 3,9% pour les feuilles décomposées et fragmentées. De même, le rapport Ca/C (également utilisable) était de 7% dans les fractions les plus décomposées des litières et de 3,5% dans les racines fines de l'horizon 0-10 cm.

Néanmoins, avant d'utiliser cette méthode, il est nécessaire de s'assurer que la différenciation des compartiments par l'analyse chimique est également possible dans les conditions du Congo.

Parallèlement à l'étude des flux réels d'éléments minéraux dans la litière du peuplement, J.J. Loumeto mesure la décomposition en sacs des litières de feuilles. Etant donné l'importance du compartiment ligneux dans la litière totale, il serait bon de pouvoir mener ces expérimentations également sur le bois et les écorces.

### **Ruissellement dans les parcelles d'Eucalyptus**

Pour appréhender le ruissellement dans les plantations, il est possible de disposer dans chacun des écosystèmes savane et plantation 4 micro-parcelles de 1 m<sup>2</sup>, de récolter les eaux de ruissellement et mesurer les concentrations en éléments minéraux. Cette méthode surestime le ruissellement, par contre elle sous-estime l'érosion car on mesure seulement la "détachabilité du sol" et non "l'érosion linéaire".

### **Remarques générales sur le nombre d'échantillons à prélever**

Que ce soit pour la biomasse herbacée ou la litière au sol, il est souhaitable que les prélèvements destructeurs annuels soient situés au voisinage du dispositif fixe d'étude des cycles (tout autour si possible). Leur nombre, de l'ordre de 10 à 15 dans le cas de la litière au sol (50 cm x 50 cm) et peut être de 5 dans le cas de la biomasse herbacée (2 m x 2 m) pourrait être ajusté en cherchant une précision de l'ordre de 10%.

De même, le nombre d'échantillons à analyser pour les différentes fractions devra être suffisant pour obtenir une certaine précision. L'idéal serait de pouvoir analyser tous les échantillons de litière au sol.

Les analyses des fractions de litière au sol réalisées en 1995 au Cameroun, à partir de 10 échantillons de chaque fraction figurent en annexe. Pour 10 échantillons, les coefficients de variation sont légèrement inférieurs à 10% pour les feuilles entières et varient de 15 à 20% dans le bois. Pour les fractions plus décomposées, les variations sont plus importantes (CV de 12 à

25%).

### **Biomasse racinaire**

Concernant les racines, il est possible d'apprécier plus justement la distribution racinaire dans le sol par des prélèvements par carottage à la tarière racinaire ou au cylindre (César, 1992). La séparation des racines fines au tamis de 1 mm est possible en sec, si pratiquement tout le sable traverse le tamis. Les matériaux grossiers récupérés sur le tamis peuvent ensuite être séparés par simple flottation dans une cuve. Le sable tombe au fond tandis que les racines flottent en surface. Néanmoins il faut savoir qu'avec cette technique on perd une grande quantité de radicelles (de l'ordre de 33% du poids total des racines fines d'après César, 1992, voir publication jointe).

### **Evaluation des transferts d'éléments minéraux effectués par les arbres de la profondeur du sol**

On peut supposer que l'*Eucalyptus* se montre bien adapté et productif sur les sols pauvres du Congo, en raison d'une bonne efficacité d'utilisation des éléments minéraux, de sa capacité à prélever les éléments de la profondeur du sol, à fixer ceux apportés par les pluies et à limiter les pertes par drainage. Si l'exploitation des arbres représente une perte d'éléments nutritifs pour le système sol-plantation, la restitution de la litière et des résidus d'exploitation peut constituer un gain par rapport à l'écosystème d'origine (sol-savane) dans la mesure où celui-ci est limité à une profondeur de sol plus faible. La prise en compte des éléments totaux du sol jusqu'à la limite de développement du système racinaire de la savane devrait permettre d'estimer approximativement les stocks des écosystèmes savane et plantation limités à la même profondeur.

Néanmoins la validité de la comparaison sera contestable par l'absence de dispositif. Aussi, pour mieux effectuer cette comparaison, il serait bon de mesurer également les stocks dans le système savane situé au dessus de la plantation.

Même si la connaissance de ces stocks renseigne peu sur la durabilité de la production de la plantation exploitée intensivement, il peut représenter un argument écologique important en faveur des plantations d'*Eucalyptus* au Congo.

### **3. Expérimentations complémentaires au travail de thèse de J.P. LACLAU conduites en collaboration avec le CIFOR (J.P. Bouillet et al.)**

#### **Essai gestion de la matière organique (litière et résidus d'exploitation)**

Cet essai très intéressant conduit par J. P. Bouillet et J. D. Nzila en collaboration avec le CIFOR devrait fournir des résultats importants sur la dynamique des éléments minéraux dans l'écosystème après exploitation. L'objectif de cet essai est d'évaluer l'impact de différentes pratiques sur les sols et la productivité des peuplements. Néanmoins cet essai est assez lourd par le nombre de ces traitements et des sous objets (3 types d'interligne). Ceci a pour conséquence, en limitant le nombre d'échantillons d'analyse, de réduire le niveau de précision.

D'après le protocole, il est prévu un suivi de la litière au sol sans distinguer les fractions : feuilles, bois et écorces. Il aurait été intéressant d'apprécier l'évolution de chaque organe au moins sur un des traitements.

## **Minéralisation de l'azote**

Il est prévu d'étudier la minéralisation de l'azote dans les différents traitements de l'essai "gestion des litières et résidus d'exploitation" au cours de la première année de replantation. Il serait intéressant d'étudier la minéralisation tout au long de la chronoséquence 1, 2, 3 et 6 ans car il y a probablement une bonne relation entre le niveau de minéralisation et l'incorporation d'azote dans le peuplement.

Un problème se pose pour le choix de la méthode à utiliser :

Raison et al. (1987), Adams et al. (1989), le programme T.S.B.F. (Anderson et Ingram, 1993) proposent d'enfoncer les tubes dans le sol permettant d'isoler des carottes de sol et d'apprécier ainsi la minéralisation. Cependant, dans les tubes non fermés à la base, il peut toujours y avoir des développements racinaires et des prélèvements par les plantes. D'autre part il est nécessaire, compte tenu de la grande variabilité de la teneur en N minéral du sol, de réaliser un grand nombre d'échantillons pour connaître le taux d'azote minéral de départ.

Une durée d'incubation de 2 semaines serait adéquate. Plutôt que de placer les échantillons à 4°C avant leur analyse, il est possible de doser l'azote du sol humide par extraction au KCl sur le terrain (protocole remis à J. P. Laclau). Les échantillons d'eau peuvent être placés dans des venojects de 10 ml et pourraient être envoyés au CIRAD-Amis à R. Oliver pour analyse (prendre contact avec lui au préalable). Le dosage réalisé par R. OLIVER est apparemment plus précis qu'à l'ORSTOM de Pointe-Noire.

Le protocole que j'ai utilisé au Cameroun consiste à réaliser un échantillon de sol composite de huit prélèvements, à le débarrasser de ses racines, à l'homogénéiser et à le remettre en terre durant 4 semaines. Le problème est l'aération de l'échantillon qui favoriserait la minéralisation de l'azote.

Néanmoins, cet inconvénient a du être en partie compensé par la longueur de la période d'incubation qui a pu ralentir la minéralisation (Adams et al., 1989) par rapport aux conditions réelles. L'avantage est de mesurer la minéralisation en connaissant assez précisément la valeur initiale de N minéral ; l'intérêt est de pouvoir isoler l'échantillon en le fermant à la base par un grillage fin de maille 100 µm, qui empêche le développement racinaire et le prélèvement d'azote par les plantes. Cette méthode m'avait permis de comparer les différentes espèces et d'obtenir des valeurs de minéralisation de N dans les 20 premiers cm du sol en correspondance avec les prélèvements réalisés par les peuplements.

Une variante pourrait être d'utiliser le même protocole en travaillant avec des échantillons non remaniés et également de mesurer la minéralisation dans les horizons plus profonds. Il se posera alors le problème de bien doser l'azote minéral de départ et d'éviter les artefacts dus à la présence de racines ou de macrofaune dans les tubes.

## **Evolution de la matière organique du sol**

Il n'est pas prévu dans le protocole "Gestion des litières et des résidus d'exploitation" d'étudier l'évolution de la MOS par des fractionnements granulométriques. Il serait bon de conserver pour chaque parcelle un échantillon composite des horizons supérieurs (0-10 et 10-20cm) (300g à 500g par échantillon) pour envisager ensuite une étude de l'évolution des différentes fractions organiques du sol (analyse de C et N). Ce travail pourrait être approfondie par une étude des propriétés de stockage (éléments minéraux sous forme non échangeable comme Ca et Mg) et des



propriétés d'échange (analyse de CEC) de la matière organique.

Ce travail pourrait, peut-être, être mené dans le cadre d'un stage ou d'un DEA au labo de comportement des sols cultivés de l'ORSTOM à Montpellier.

Ce travail permettrait de comprendre, en fonction des différents traitements les processus d'incorporation de la litière au sol, et de mieux apprécier l'intérêt de chaque traitement pour la protection du sol et la conservation des éléments minéraux de l'écosystème.

## **Perspectives**

Parmi les nouvelles pistes de gestion des plantations on peut citer l'introduction d'une plante légumineuse de couverture. Cette technique, qui devrait permettre d'accroître le stock d'azote minéralisable du sol et d'améliorer le recyclage des éléments minéraux par une meilleure décomposition de la matière organique au sens large (litière et matière organique du sol), peut paraître séduisante. Néanmoins la mise au point de cette technique nécessite des tâtonnements assez longs : sélection de la plante de couverture, choix de l'itinéraire technique, évaluation de son effet sur le peuplement et sur les caractéristiques hydriques, physiques, chimiques et biologiques du sol.

Les effets de la fertilisation sur l'évolution des sols et des peuplements est également une piste à explorer. J. P. Laclau (1997) montre que la fertilisation azotée à 3 ans entraîne une plus forte incorporation d'azote dans le peuplement conduisant non pas à une plus forte production mais à une consommation dite de luxe. La quantité supplémentaire stockée dans le peuplement étant supérieure aux apports, on peut penser que la fertilisation a activé la minéralisation de N du sol.

A terme, les études explicatives du fonctionnement de l'écosystème (flux d'azote et d'éléments minéraux, évolution des différents compartiments de matière organique et de minéralomasse) devraient constituer des bases de données pour la construction de modèles de prévision de la production des plantations et d'évolution des caractéristiques du sol.

## **Documents consultés**

**J. P. BOUILLET, J. D. NZILA, J. P. LACLAU, G. NIZINSKI, J. RANGER.** Sustainability of *Eucalyptus* plantations in the equatorial zone, on the coastal plains of the Congo, 28 p.

**J. P. LACLAU :** Document à la première réunion du comité de thèse : dynamique du fonctionnement minéral d'une plantation d'*Eucalyptus* au Congo : impact du reboisement sur le sol de savane..

**LACLAU J. P., 1997.** Dynamique d'incorporation des éléments minéraux majeurs (N,P, K,Ca Mg) dans une futaie d'*Eucalyptus* au Congo. Mémoire de DEA BDAPC, INA-PG, 25 p.

## **Publications jointes**

**ABBADIE L., 1984.** Evolution saisonnière du stock d'azote dans la strate herbacée d'une savane soumise au feu en Côte d'Ivoire. *Acta Oecologica, Oecologia Plantarum* 5 : 321-334.

**ABBADIE L. et LEPAGE M., 1989.** The role of subterranean fungus comb chambers (Isoptera, Macrotermitinae) in soil nitrogen cycling in a preforest savanna (Côte d'Ivoire). *Soil Biol. Biochem.* 21: 1067-1071.

**ABBADIE L., MARIOTTI A. et MENAUT J.C., 1992.** Independence of savanna grasses from soil organic matter for their nitrogen supply. *Ecology* 73 (2) : 608-613.

**ABBADIE L., LEPAGE M. et MENAUT J.C., 1996.** Paradoxes d'une savane africaine. Comment des sols apparemment pauvres entretiennent une végétation abondante. *La Recherche* 287 : 36-38.

**ADAMS M.A., POLGLASE P.J., ATTIWILL P.M. et WESTON C.J., 1989.** *In situ* studies of nitrogen mineralization and uptake in forest soils; some comments on methodology. *Soil Biol. Biochem.* 21 (3) : 423-429.

**ANDERSON J.M. et INGRAM J. (eds), 1993.** Tropical Soil Biology and Fertility. A Handbook of methods. CAB International, Oxford (GBR), 221 p. (Minéralisation de N)

**BERNHARD-REVERSAT F., 1986.** Le recyclage des éléments minéraux par la strate herbacée dans un peuplement naturel à *Acacia* et dans une plantation d'*Eucalyptus* au Sénégal. *Acta OEcol./ OEcol. Gener.* 7 (4) : 353-364.

**BERNHARD-REVERSAT F., 1987 a.** Litter incorporation to soil organic matter in natural and planted tree stands in Senegal. *Pedobiologia* 30 : 401-417.

**BERNHARD-REVERSAT F., 1987 b.** Les cycles des éléments minéraux dans un peuplement à *Acacia seyal* et leur modification en plantation d'*Eucalyptus* au Sénégal. *Acta OEcol./ OEcol. Gener.* 8 (1) : 3-16.

**BERNHARD-REVERSAT F., 1988.** Soil Nitrogen Mineralization under a *Eucalyptus* Plantation and a Natural *Acacia* Forest in Senegal. *Forest Ecology and Management* 23 : 233-244.

**CESAR J., 1992.** La production biologique des savanes de Côte d'Ivoire et son utilisation par l'homme. Biomasse, valeur pastorale et production fourragère. CIRAD-IEMVT. 671p. (petit extrait)

**CORNET, 1981.** Mesure de biomasse et détermination de la production nette aérienne de la strate herbacée dans trois groupements végétaux de la zone sahélienne au Sénégal. *Acta Oecol./ Oecol. Plant.* 2 (16) n°3 : 251-266.

**FELLER C., LAVELLE P., ALBRECHT A. et NICOLARDOT B., 1993.** La jachère et le fonctionnement des sols tropicaux. Rôle de l'activité biologique et des matières organiques. Quelques éléments de réflexion. In : Atelier international. La jachère en Afrique de l'Ouest, C. FLORET and G. SERPANTIER (Eds.), Montpellier (FRA), 02-05/12/1991. Paris (FRA), ORSTOM, p. 14-32.

**FORGEARD F., GLOAGUEN J.C. et TOUFFET J., 1979.** Interception des précipitations et apport au sol d'éléments minéraux par les eaux de pluie et les pluviollessivats dans quelques landes armoricaines. *Bull. Ecol.* (10), 1 : 29-41.

**HARMAND J.M., 1997.** Rôle des espèces ligneuses a croissance rapide dans le fonctionnement

biogéochimique de la jachère. Effets sur la restauration de la fertilité des sols ferrugineux tropicaux. (Basssin de la Bénoué au Nord-Cameroun). Thèse de Doctorat de l'université de Paris VI, 213p. + annexes.

(document déjà parvenu à Pointe-Noire)

**LODGE D.J., MCDOWELL W.H. et MCSWINEY C.P., 1994.** The importance of nutrient pulses in tropical forests. *TREE* 9 (10) : 384-387.

**MODI A.I., LACAUX J.P., LABROUE L. et BAUDET J.G.R., 1995.** Chimie des aérosols et des pluies dans la savane semi-aride du Niger pendant la saison humide 1989. *Sécheresse* 4 (6) : 331-335.

**RAPP M. et LEONARDI S., 1988.** Evolution de la litière au sol au cours d'une année dans un taillis de chêne vert (*Quercus ilex*). *Pedobiologia* 32 : 177-185.

**ROOSE E. et HENRY DES TUREAUX P., 1970.** Deux méthodes de mesure du drainage vertical dans un sol en place. *L'Agronomie Tropicale*, 25 (12) : 1079-1086.

**VITOUSEK P.M. et SANFORD R.L., 1986.** Nutrient cycling in moist tropical forest. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 17 : 137-167.